

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年12月6日  
Date of Application:

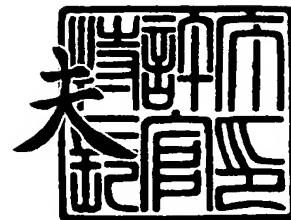
出願番号 特願2002-355732  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP2002-355732]

出願人 本田技研工業株式会社  
Applicant(s):

2003年9月12日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康



出証番号 出証特2003-3075506



【書類名】 特許願

【整理番号】 H102197201

【提出日】 平成14年12月 6日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01L 3/10  
G01L 5/22  
B62D 5/04

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 浅海 壽夫

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 清水 康夫

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 末吉 俊一郎

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100081972

【住所又は居所】 東京都豊島区東池袋1丁目20番2号 池袋ホワイトハウスビル816号

【弁理士】

【氏名又は名称】 吉田 豊

【電話番号】 03-5956-7220

**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 049836**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 0016256**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 トルクセンサ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 トルク伝達軸に固定される磁歪膜にそれぞれ近接して配置される励磁コイルおよび検出コイルと、励磁信号を生成して前記励磁コイルに供給する励磁信号生成部と、前記励磁コイルが励磁されたときの前記検出コイルの出力を入力して入力値から前記トルク伝達軸に印加されるトルクを検出するマイクロコンピュータとを備えたトルクセンサにおいて、前記励磁信号生成部は、前記マイクロコンピュータのクロック周波数に基づいて前記励磁信号を生成するように構成したことを特徴とするトルクセンサ。

【請求項 2】 前記励磁信号生成部は、前記マイクロコンピュータのクロック周波数を分周して得た矩形波からアナログ回路を介して所定の周波数の正弦波を生成し、前記生成した正弦波から前記励磁信号を生成することを特徴とする請求項 1 項記載のトルクセンサ。

【請求項 3】 前記トルクセンサは、前記検出コイルを複数個備えると共に、前記励磁コイルが励磁されたときの前記複数個の検出コイルのそれぞれの出力に基づいて前記トルクセンサの故障を検出する故障検出部を備えることを特徴とする請求項 1 項または 2 項記載のトルクセンサ。

【請求項 4】 前記トルクセンサは、電動機によって車両の操舵トルクを補助する電動パワーステアリング装置の前記操舵トルクを検出するトルクセンサであることを特徴とする請求項 1 項から 3 項のいずれかに記載のトルクセンサ。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明は、トルクセンサに関し、より詳しくは非接触型の磁歪式のトルクセンサに関する。

【0 0 0 2】

【従来技術】

非接触型の磁歪式のトルクセンサは、一般に、トルク伝達軸に固定され、一軸

磁気異方性を備えた磁性金属薄膜と、それに近接して配置された励磁コイルと検出コイルとを備え、印加トルクによって磁歪膜に生じた透磁率の増減を検出コイルの電位差として取り出して印加トルクを検出する。

#### 【0003】

この種の非接触型の磁歪式のトルクセンサの例としては下記の特許文献1で提案されるものを挙げることができる。この従来技術に係るトルクセンサは、電動機によって車両の操舵トルクを補助する電動パワーステアリング装置において、運転者からステアリングホイールを介して入力される操舵トルクを検出するのに使用される。

#### 【0004】

具体的には、トルクセンサ(70)が検出した操舵トルクは電動パワーステアリング装置の制御手段(81)に送出され、制御手段(81)は入力された操舵トルクに基づいて電動機(82)を制御するように構成される。

#### 【0005】

##### 【特許文献1】

特開2001-133337号公報(段落0027、図2)

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

トルクセンサは、一般に、ハートレー(Hartley)やコルピッツ(Colpitts)などに代表されるアナログ発振回路から発生される正弦波を励磁信号として用いているため、温度変化や電源電圧の変動といった外乱の影響を受け易い。このため、従来技術に係るトルクセンサにあつては、安定した励磁信号(正弦波)が得られず、トルクの検出精度を低下させる恐れがあつた。

#### 【0007】

また、トルクセンサ、特に、上記した従来技術に係るトルクセンサのように車両のトルク伝達軸のトルク検出に使用されるものにあつては、トルクセンサの出力の異常をマイクロコンピュータなどからなる制御手段で常に監視し、トルクセンサの故障をできる限り早く(タイムリーに)検出できることが望ましい。しかしながら、従来技術に係るトルクセンサにあつては、トルクセンサとその異常を

監視するマイクロコンピュータなどの制御手段が別系統（アナログ信号系とデジタル信号系）とされ、それぞれ異なる周波数で独立して動作していたため、トルクセンサが出力を生じてからマイクロコンピュータでその出力に基づいた故障検出が行なわれるまでに時間的な遅れが生じるという不都合があった。

#### 【0008】

従って、この発明の目的は、安定した励磁信号を供給してトルクの検出精度を向上させることができると共に、トルクセンサが出力を生じてからマイクロコンピュータで故障検出が行なわれるまでの時間的な遅れを解消することができるようにしたトルクセンサを提供することにある。

#### 【0009】

一方、励磁信号を生成するアナログ回路（特に、所定の周波数のみを通過させる帯域2次フィルタ（バンドパスフィルタ）など）の特性に個体差（製造バラツキ）が生じた場合、励磁信号にノイズが含まれてしまうことがあり、トルクの検出精度を低下させるという不都合があった。

#### 【0010】

従って、この発明の第2の目的は、励磁信号を生成するアナログ回路の特性に個体差（製造バラツキ）が生じた場合でも、ノイズを含まない励磁信号を生成することができ、よってトルクの検出精度を一層向上させることができるようにしたトルクセンサを提供することにある。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

上記した目的を達成するために、請求項1項にあっては、トルク伝達軸に固定される磁歪膜にそれぞれ近接して配置される励磁コイルおよび検出コイルと、励磁信号を生成して前記励磁コイルに供給する励磁信号生成部と、前記励磁コイルが励磁されたときの前記検出コイルの出力を入力して入力値から前記トルク伝達軸に印加されるトルクを検出するマイクロコンピュータとを備えたトルクセンサにおいて、前記励磁信号生成部は、前記マイクロコンピュータのクロック周波数に基づいて前記励磁信号を生成するように構成した。

#### 【0012】

励磁コイルに供給する励磁信号をマイクロコンピュータのクロック周波数（動作周波数）に基づいて生成する、即ち、デジタル信号から励磁信号を生成するように構成したので、温度変化や電源電圧の変動の影響を受け難い安定した励磁信号を供給することができるため、トルクの検出精度を向上させることができる。また、マイクロコンピュータとトルクセンサの動作が同期することから、トルクセンサが出力を生じてからマイクロコンピュータで故障検出が行なわれるまでの時間的な遅れを解消することができる。

#### 【 0 0 1 3 】

また、請求項 2 項にあつては、前記励磁信号生成部は、前記マイクロコンピュータのクロック周波数を分周して得た矩形波からアナログ回路を介して所定の周波数の正弦波を生成し、前記生成した正弦波から前記励磁信号を生成するように構成した。

#### 【 0 0 1 4 】

マイクロコンピュータのクロック周波数を分周して得た矩形波からアナログ回路を介して所定の周波数の正弦波を生成し、その正弦波から励磁信号を生成するように構成したので、マイクロコンピュータのプログラミングを変更してアナログ回路に入力される矩形波の周波数を調整することができる。具体的には、クロック周波数をカウントするカウンタの設定値（カウント値）を変更して分周比を変更することにより、アナログ回路に入力される矩形波の周波数を、アナログ回路の特性（特に、所定の周波数のみを通過させる帯域 2 次フィルタ（バンドパスフィルタ）の特性）に対応した値に設定することができる。このため、アナログ回路の特性に個体差が生じた場合であっても、ノイズを含まない励磁信号（正弦波）を生成することができ、よってトルクの検出精度を一層向上させることができる。

#### 【 0 0 1 5 】

また、請求項 3 項にあつては、前記トルクセンサは、前記検出コイルを複数個備えると共に、前記励磁コイルが励磁されたときの前記複数個の検出コイルのそれぞれの出力に基づいて前記トルクセンサの故障を検出する故障検出部を備えるように構成した。

## 【0016】

検出コイルを複数個備え、それらの出力に基づいてトルクセンサの故障を検出する故障検出部を備えるように構成したので、請求項1項および2項で述べた効果に加え、トルクセンサの故障をより正確に検出することができる。

## 【0017】

また、請求項4項にあっては、前記トルクセンサは、電動機によって車両の操舵トルクを補助する電動パワーステアリング装置の前記操舵トルクを検出するトルクセンサである如く構成した。

## 【0018】

請求項1項から3項に係るトルクセンサは上記した効果を有するので、車両に搭載される電動パワーステアリング装置に装着されるときも、運転者からステアリングホイールを介して印加される操舵トルクを精度良く検出でき、よって電動パワーステアリングの操舵フィーリングを向上させることができると共に、トルクセンサが出力を生じてからマイクロコンピュータで故障検出が行なわれるまでの時間的な遅れを解消することができる。さらに、請求項2項に係るトルクセンサであるときは、製品の出荷前に励磁信号を生成するアナログ回路の個体差に応じて分周比を最適に設定することで、ノイズを含まない励磁信号を生成することができるため、トルクの検出精度を一層向上させることができる。

## 【0019】

## 【発明の実施の形態】

以下、添付図面に即してこの発明の一つの実施の形態に係るトルクセンサを説明する。

## 【0020】

図1は、この発明の一つの実施の形態に係るトルクセンサを模式的に示す原理図である。

## 【0021】

図示の如く、トルクセンサ10は、トルク伝達軸（回転軸）12に固定され、磁気異方性を備えた磁歪膜（磁性金属薄膜）14と、磁歪膜14に近接して配置された励磁コイル（1次側と示す）16と、同様に磁歪膜14に近接して配置さ



れた2次側と3次側の2個の検出コイル20, 22とを備える。以下、2次側の検出コイル20を「2次側検出コイル」と呼び、3次側の検出コイル22を「3次側検出コイル」と呼ぶ。

#### 【0022】

トルク伝達軸12は、Niをほとんど含まない、クロムモリブデン鋼材（JIS-G-4105、記号SCM）などからなる。また、磁歪膜14は、磁気異方正が与えられた第1の磁歪膜14aと第2の磁歪膜14bから構成される。

#### 【0023】

第1の磁歪膜14aと第2の磁歪膜14bは、具体的には、図に矢印で示す如く、トルク伝達軸12の軸線12aに対して±45度の方向に一軸磁気異方性を備えるように構成されると共に、トルク伝達軸12の全周に所定幅にわたって固定（貼付）される。より詳しくは、各磁歪膜14a, 14bは歪み応力（圧縮応力および引っ張り応力）に対して透磁率の変化の大きい素材からなる金属膜であり、例えば、トルク伝達軸12の外周に湿式メッキ法で形成した、Ni-Fe系の合金膜からなる。Ni-Fe系の合金膜は、例えば、重量%においてNiが50から60であり、残余がFeである。

#### 【0024】

磁歪膜14は上記したようにトルク伝達軸12の外表面に直接設けても良く、あるいはパイプ状の別部材上に形成した後、別部材ごとトルク伝達軸12上に固定するようにしても良い。また、磁歪膜14およびトルク伝達軸12の素材も上記したもの止まらないことはいうまでもない。

#### 【0025】

励磁コイル16は、第1の励磁コイル16aと第2の励磁コイル16bから構成される。第1の励磁コイル16aと第2の励磁コイル16bは、それぞれ第1の磁歪膜14aと第2の磁歪膜14b（およびトルク伝達軸12）に近接して、より詳しくは0.4～0.6mm程度の間隙をもって配置された磁心（図示せず）に巻かれてなり、励磁電源26から交流電流を通電されて励磁される。

#### 【0026】

2次側検出コイル20は、第1の2次側検出コイル20aと第2の2次側検出

コイル 20 b から構成される。第 1 の 2 次側検出コイル 20 a と第 2 の 2 次側検出コイル 20 b は、励磁コイル 16 と同様に、それぞれ第 1 の磁歪膜 14 a と第 2 の磁歪膜 14 b（およびトルク伝達軸 12）に近接して、より詳しくは 0.4～0.6 mm 程度の間隙をもって配置される。励磁コイル 16 の磁心と検出コイル 20 の磁心は、磁歪膜 14（およびトルク伝達軸 12）に近接しつつ対向して配置される。また、第 1 の 2 次側検出コイル 20 a と第 2 の 2 次側検出コイル 20 b は巻き方向が逆向きにされ、差動結合、具体的には負電圧側同士の差動結合とされる。

#### 【0027】

また、3 次側検出コイル 22 も、第 1 の 3 次側検出コイル 22 a と第 2 の 3 次側検出コイル 22 b からなると共に、第 1 の 3 次側検出コイル 22 a と第 2 の 3 次側検出コイル 22 b は、それぞれ第 1 の磁歪膜 14 a と第 2 の磁歪膜 14 b（およびトルク伝達軸 12）に近接して、より詳しくは 0.4～0.6 mm 程度の間隙をもって配置される。また、第 1 の 3 次側検出コイル 22 a と第 2 の 3 次側検出コイル 22 b も巻き方向が逆向きにされ、差動結合、具体的には正電圧側同士の差動結合とされる。

#### 【0028】

尚、第 1 の 3 次側検出コイル 22 a は第 1 の 2 次側検出コイル 20 a と巻き方向が逆向きにされて極性が相違させられると共に、第 2 の 3 次側検出コイル 22 b は第 2 の 2 次側検出コイル 20 b と巻き方向が逆向きにされ、極性が相違させられる。

#### 【0029】

このように、この実施の形態に係るトルクセンサ 10 にあつては、計 4 個の検出コイルを備えると共に、接続されるコイル同士、および同一の磁歪膜に近接して配置されるコイル同士は、それぞれ巻き方向が逆向き（背反的）になるように配置される。

#### 【0030】

トルク伝達軸 12（および磁歪膜 14）と磁心の間には磁気回路が形成され、その磁気回路において、励磁コイル 16 が励磁されたとき、外部から印加される

トルクに応じてトルク伝達軸 12 に生じる応力歪みに比例する透磁率の増減が生じ、各検出コイル 20、22 の出力端にその誘導電圧が微少な電圧値の変化として出力される。

#### 【0031】

2 次側検出コイル 20 と 3 次側検出コイル 22 の出力は、処理回路 28 に入力される。処理回路 28 は、後述するように印加トルクの方角および大きさを検出し、それらを示す出力を生じる。

#### 【0032】

以下、この実施の形態に係るトルクセンサ 10 を、車両の操舵トルクを補助する電動パワーステアリング装置に装着し、運転者から入力される操舵トルクを検出するトルクセンサとして利用した場合を例にとって詳説する。

#### 【0033】

図 2 は、トルクセンサ 10 を電動パワーステアリング装置の操舵トルクを検出するトルクセンサとして利用した場合を示す説明図である。

#### 【0034】

図示の如く、車両 30 において運転席に配置されたステアリングホイール 34 は、ステアリングシャフト 36 に連結され、ステアリングシャフト 36 はユニバーサルジョイント 38、40 を介してコネクティングシャフト 42 に連結される。

#### 【0035】

コネクティングシャフト 42 は、ラック・ピニオン型ステアリングギア 44 のピニオン 46 に連結される。ピニオン 46 はラック 48 に噛み合っており、よってステアリングホイール 34 から入力された回転運動はピニオン 46 を介してラック 48 の往復運動に変換され、フロントアクスルの両端に配置されたタイロッド（ステアリングロッド）50 およびキングピン（図示せず）を介して 2 個の前輪（操舵輪）52 を所望の方角に転舵させる。

#### 【0036】

ラック 48 上には同軸に電動機（電動モータ）54 およびボールねじ機構 56 が配置され、電動機出力はボールねじ機構 56 を介してラック 48 の往復運動に

変換され、ステアリングホイール 3 4 を介して入力された操舵トルク（操舵力）を補助（減少）する方向にラック 4 8 を駆動する。

#### 【 0 0 3 7 】

ここで、ステアリングシャフト 3 6 の適宜位置には前記したトルクセンサ 1 0 が設けられ、運転者が入力した操舵力（操舵トルク）の方向と大きさに応じた信号を出力する。

#### 【 0 0 3 8 】

トルクセンサ 1 0 の出力は、電動パワーステアリング装置用の E C U （電子制御ユニット） 6 0 に入力される。E C U 6 0 は、マイクロコンピュータからなり、車載バッテリー（1 2 V の片電源） 6 2 から駆動電源を供給されて所定のクロック周波数（動作周波数）で動作する。

#### 【 0 0 3 9 】

E C U 6 0 は、トルクセンサ 1 0 が検出した操舵トルクの方向と大きさ、および図示しない別の E C U から供給される車速を表す信号に基づいて操舵トルクのアシスト量と方向を決定し、指令値（P W M 制御のデューティ比）を算出してモータ駆動回路 6 4 を介して電動機 5 4 を駆動制御する。このため、トルクセンサ 1 0 の操舵トルクの検出精度は、電動パワーステアリングの操舵フィーリングに影響することになる。

#### 【 0 0 4 0 】

また、E C U 6 0 は、トルクセンサ 1 0 の出力に基づいてトルクセンサ 1 0 の故障を検出し、故障が検出されたときは運転席付近に配置された警告灯 6 6 を点灯させて運転者に報告する。

#### 【 0 0 4 1 】

図 3 は、トルクセンサ 1 0 の構成を詳細に示すブロック図である。

#### 【 0 0 4 2 】

図示の如く、E C U 6 0 には、5 V の定電圧レギュレータ 6 8 を介して車載バッテリー 6 2 が接続され、5 V の動作電圧が供給される。ここで、E C U 6 0 のクロック周波数（動作周波数。より詳しくは、マイクロコンピュータを構成する C P U の内部周波数）は、クリスタル（水晶）発振子 7 0 の発振周波数（外部周波

数) を内部で所定倍して得た周波数とされる。この実施の形態にあつては、クリスタル発振子 7 0 の発振周波数を 1 0 M H z、E C U 6 0 内部での倍率を 4 倍とし、よつて E C U 6 0 の内部では、供給された 5 V の動作電圧から、振幅 5 V、周波数 4 0 M H z の矩形波が生成されるものとする。

#### 【 0 0 4 3 】

E C U 6 0 は、その内部に分周器 (回路) 6 0 a を備える。分周器 6 0 a は、E C U 6 0 のクロック周波数をカウントするカウンタ (図示せず) を備え、外部からのプログラミングによつてカウンタの設定値 (カウント値) を変更することで、分周比を任意の値に設定することができる。この実施の形態にあつては、カウンタのカウント値を 1 6 0 0 に設定することで分周比を  $1 / 1 6 0 0$  とし、分周器 6 0 a から 2 5 k H z (振幅 5 V) の矩形波が出力されるものとする。

#### 【 0 0 4 4 】

分周器 6 0 a の出力は、リファレンス電圧生成部 7 2 に入力される。尚、この明細書で「リファレンス電圧」とは、処理回路 2 8 の内部で発生する交流信号の midpoint (振幅の midpoint) を示す電圧値を意味する。リファレンス電圧生成部 7 2 は、分周器 6 0 a から出力された振幅 5 V の矩形波のデューティ比 5 0 % に相当する電圧、即ち、2. 5 V の定電圧をリファレンス電圧として出力する。

#### 【 0 0 4 5 】

一方、分周器 6 0 a から出力された 2 5 k H z の矩形波は帯域 2 次フィルタ (バンドパスフィルタ) 7 4 にも入力され、そこで矩形波を構成する 2 5 k H z 以外の高調波成分が除去 (減衰) されると共に、リファレンス電圧生成部 7 2 で生成されたリファレンス電圧が入力され、よつて midpoint を 2. 5 V とする振幅 5 V、周波数 2 5 k H z の正弦波 (s i n 波) が生成される。

#### 【 0 0 4 6 】

帯域 2 次フィルタ 7 4 で生成された正弦波は、反転増幅部 (オペアンプ) 7 6 で波形の反転と振幅の増幅処理が施された後 (処理後の波形の midpoint も前記したリファレンス電圧とされる)、R C フィルタ (ローパスフィルタ) 7 8 を介して励磁コイル 1 6 (具体的には、第 1 の励磁コイル 1 6 a およびそれに接続された第 2 の励磁コイル 1 6 b) に励磁信号として供給される。励磁コイル 1 6 に励磁信

号が供給されると、2次側検出コイル20と3次側検出コイル22には、ステアリングシャフト36（図3で図示せず）に印加された操舵トルクの方  
向および大きさに応じた位相の出力（電圧波形）が生じる。

#### 【0047】

この実施の形態では、上記した如く、励磁信号である正弦波はECU60から出力される矩形波を分周して得た波形から生成する、即ち、励磁信号をデジタル信号から生成するようにしたので、温度変化や電源電圧の変動の影響を受け難い安定した励磁信号を供給することができる。従って、2次側検出コイル20と3次側検出コイル22が出力する波形も安定するため、トルクの検出精度を向上させることができる。このため、運転者からステアリングホイール34を介して印加される操舵トルクを精度良く検出することができ、よって電動パワーステアリングの操舵フィーリングを向上させることができる。

#### 【0048】

さらに、帯域2次フィルタ74や反転増幅部76、RCフィルタ78といった励磁信号を生成するためのアナログ回路の特性に個体差（製造バラツキ）が生じた場合には、外部からのプログラミングによってカウンタの設定値（カウント値）を変更し、分周器60aの分周比を変更することにより、アナログ回路に入力される矩形波の周波数をアナログ回路の特性、特に帯域2次フィルタ74の時定数に対応した値に設定することができる。このため、アナログ回路の特性に個体差が生じた場合であっても、ノイズを含まない励磁信号（正弦波）を生成することができ、トルクの検出精度を一層向上させることができる。

#### 【0049】

また、正弦波（励磁信号）の midpoint を示すリファレンス電圧を矩形波のデューティ比50％に相当する電圧としたので、図4に示す如く、励磁電源から供給される電圧 $V_{cc}$ に変動が生じて正弦波の振幅が変化しても、それに追従して振幅の midpoint を示すリファレンス電圧 $V_{ref}$ も変化することになる。例えば、励磁電源の電圧 $V_{cc}$ が5.2Vを示すとき、リファレンス電圧 $V_{ref}$ はその50％、即ち、2.6Vとなる。

#### 【0050】

このため、車載バッテリー 62 のような片電源（単電源）を利用して励磁信号を生成する場合でも、常に上下（具体的には、リファレンス電圧  $V_{ref}$  を中点としたときの上側の振幅と下側の振幅）で差の生じない大きな振幅の励磁信号を生成することができる。換言すれば、励磁電源から供給される最大電圧を利用して励磁信号を生成することができる。尚、図 3 に示す構成において励磁電源とは、車載バッテリー 62 から分周器 60a に至るまでの各構成、即ち、車載バッテリー 62、定電圧レギュレータ 68、ECU 60 および分周器 60a を示す。

#### 【0051】

次いで、図 5 を参照し、2 次側検出コイル 20 と 3 次側検出コイル 22 について詳説する。図 5 は、図 3 で符号 S で示すセンシング部の拡大図である。尚、センシング部 S は、励磁コイル 16 と、2 次側検出コイル 20 と、3 次側検出コイル 22 と、図示しないステアリングシャフト 36（およびそれに固定された磁歪膜 14）とからなる。

#### 【0052】

図 5 に示すように、第 1 の励磁コイル 16a に近接する位置には、第 1 の 2 次側検出コイル 20a と第 1 の 3 次側コイル 22a が配置される。前述したように、第 1 の 2 次側検出コイル 20a と第 1 の 3 次側コイル 22a は、巻き方向が逆向きに（背反的に）されて極性が相違させられる。具体的には、第 1 の励磁コイル 16a と第 1 の 2 次側検出コイル 20a は極性が同一にされると共に、第 1 の励磁コイル 16a と第 1 の 3 次側コイル 22a は極性が相違させられる。

#### 【0053】

また、第 2 の励磁コイル 16b に近接する位置には、第 2 の 2 次側検出コイル 20b と第 2 の 3 次側コイル 22b が設けられる。前述したように、第 2 の 2 次側検出コイル 20b と第 2 の 3 次側コイル 22b も、同様に巻き方向が逆向きに（背反的に）されて極性が相違させられる。具体的には、第 2 の励磁コイル 16b と第 2 の 2 次側検出コイル 20b は極性が相違させられると共に、第 2 の励磁コイル 16b と第 1 の 3 次側コイル 22b は極性が同一にされる。

#### 【0054】

図示の如く、第 1 の励磁コイル 16a と第 2 の励磁コイル 16b は、それぞれ

負電圧側と正電圧側が直列に接続される。他方、第1の2次側検出コイル20aと第2の2次側検出コイル20bは、それぞれの負電圧側同士が直列に接続された差動結合とされる。また、第1の3次側検出コイル22aと第2の3次側検出コイル22bは、それぞれの正電圧側同士が直列に接続された差動結合とされる。

#### 【0055】

ここで、各コイルに生じる誘導電圧について説明する。同図において、矢印（黒）が自己誘導電圧を示し、矢印（白）が相互誘導電圧を示す。また、各矢印の添字は、1が励磁コイル、2が2次側検出コイル、3が3次側検出コイルの起電力によって生じた誘導電圧であることを示す。

#### 【0056】

符合aが付される第1のコイル（16a, 20a, 22a）を例にとって説明すると、第1の励磁コイル16aに励磁信号が供給されて電圧が印加されると、第1の励磁コイル16aには電流 $i_1$ が流れると共に、その流れ方向と逆向きの自己誘導電圧が生じる。このとき、第1の2次側検出コイル20aと第1の3次側検出コイル22aには、相互誘導電圧が生じる。

#### 【0057】

第1の2次側検出コイル20aと第1の3次側検出コイル22aに誘導電圧が生じると、各コイルには電流（誘導電流） $i_2$ ,  $i_3$ が発生すると共に、発生した電流と逆向きの自己誘導電圧が生じる。第1の2次側検出コイル20aと第1の3次側検出コイル22aに自己誘導電圧が生じると、それに起因して第1の励磁コイル16aに相互誘導電圧が生じるため、第1の励磁コイル16aの見掛け上のインダクタンスが変化する（流れる電流が変化する）。

#### 【0058】

しかしながら、この実施の形態にあっては、第1の2次側検出コイル20aと第1の3次側検出コイル22aの巻き方向が逆向きに（背反的に）されていることから、2つのコイルに流れる電流の位相が180度ずれるため、それらに生じる自己誘導電圧も対向する。従って、 $i_2 = i_3$ ならば、第1の2次側検出コイル20aと第1の3次側検出コイル22aに生じる自己誘導電圧同士が相殺され



て零になると共に、それらに起因して生じる第1の励磁コイル16aの相互誘導電圧も相殺されて零になる。

#### 【0059】

よって各コイルにおいて発生する誘導電圧は、符合bが付される第2のコイル(16b, 20b, 22b)を例にとって示すように、励磁コイル16の自己誘導電圧と、それに起因して生じる2次側検出コイル20と3次側検出コイルの22の相互誘導電圧のみとなる。即ち、検出コイル20, 22の自己誘導電圧に起因する励磁コイル16のインダクタンスの変化が生じなくなり、検出コイル20, 22の出力が印加されたトルクのみを反映する値となる。

#### 【0060】

このように、2次側検出コイル20と3次側検出コイル22のコイルの巻き方向を逆方向に(背反的に)したため、検出コイル20, 22の自己誘導電圧およびそれに起因して発生する励磁コイル16の相互誘導電圧が相殺され、励磁コイル16のインダクタンスは変化しない。このため、検出コイル20, 22の出力と印加されたトルクの関係が比例関係となり、よってトルクの検出精度を向上させることができる。

#### 【0061】

次いで、温度変化に起因するインダクタンスの変化について説明する。前述した如く、第1の2次側検出コイル20aと第2の2次側検出コイル20bは、負電圧側同士が直列に接続された差動結合とされるため、温度変化に起因するインダクタンスの変化が第1および第2の2次側検出コイル20a, 20bのそれぞれで生じたとしても、2次側検出コイル20全体としてはインダクタンスの変化は相殺されて零となる。また、3次側検出コイル22においても、第1の3次側検出コイル22aと第2の3次側検出コイル22bが正電圧側同士の差動結合とされるため、同様にインダクタンスの変化は相殺されて零となる。

#### 【0062】

また、第1の2次側検出コイル20aと第2の2次側検出コイル20bを負電圧側同士の差動結合とすると共に、第1の3次側検出コイル22aと第2の3次側検出コイル22bを正電圧側同士の差動結合としたため、トルクセンサ10を

電動パワーステアリング装置に装着して大きな温度変化に曝される場合でも、温度変化に起因するインダクタンスの変化を相殺してその影響を解消することができ、よって安定した検出特性を得ることができる。このため、運転者からステアリングホイール 34 を介して印加される操舵トルクを精度良く検出することができ、よって電動パワーステアリングの操舵フィーリングを一層向上させることができる。

#### 【0063】

図3の説明に戻ると、RCフィルタ 78 から出力された励磁信号、より具体的には、実際に励磁コイル 16 に供給される電圧波形は、2次側バイアス電圧生成部 80 にも入力され、そこで位相が90度進められた2次側  $\cos$  波が生成される。また、励磁信号（実際に励磁コイル 16 に入力される電圧波形）は3次側バイアス電圧生成部 82 にも入力され、そこで位相が90度遅らされた（-90度進められた）3次側  $\cos$  波が生成される。

#### 【0064】

2次側検出コイル 20 の出力（電圧波形）は2次側加算部 84 で前記した2次側  $\cos$  波が加算され、2次側加算波形が生成される。また、3次側検出コイル 22 の出力（電圧波形）は3次側加算部 86 で前記した3次側  $\cos$  波が加算され、3次側加算波形が生成される。即ち、2次側  $\cos$  波と3次側  $\cos$  波は、各検出コイルが出力した電圧波形に加算されるバイアス電圧を意味する。

#### 【0065】

図6は、ステアリングシャフト 36 にトルクが印加されていないときの2次側加算波形などの各波形を示す説明グラフである。また、図7は、同様にステアリングシャフト 36 にトルクが印加されていないときの3次側加算波形などの各波形を示す説明グラフである。

#### 【0066】

図6に示すように、ステアリングシャフト 36 にトルクが印加されていないときは、第1の2次側検出コイル 20a と第2の2次側検出コイル 20b の出力が相殺され、V2 で示す2次側検出コイル 20 全体としての出力（以下、「2次側出力」と呼ぶ）は、リファレンス電圧  $V_{ref}$  と一致する（零となる）。従って

、 $V_{plus2}$ で示す2次側加算波形は、 $V_{cos2}$ で示す2次側 $\cos$ 波と一致する。尚、実際に励磁コイル16に供給される励磁信号（正弦波）を $V_{sin}$ で示す。

#### 【0067】

また、図7に示すように、ステアリングシャフト36にトルクが印加されていないときは、第1の3次側検出コイル22aと第2の3次側検出コイル22bの出力も相殺され、 $V_3$ で示す3次側検出コイル22全体としての出力（以下、「3次側出力」と呼ぶ）はリファレンス電圧 $V_{ref}$ と一致する（零となる）。従って、 $V_{plus3}$ で示す3次側加算波形は、 $V_{cos3}$ で示す3次側 $\cos$ 波と一致する。

#### 【0068】

他方、ステアリングシャフト36に右回転方向のトルクが印加されると、第1の2次側検出コイル20aと第2の2次側検出コイル20bのインダクタンスのバランスが崩れ、図8に示すように、励磁信号 $V_{sin}$ と同位相の2次側出力 $V_2$ が生じる。このため、2次側加算波形 $V_{plus2}$ は、2次側 $\cos$ 波 $V_{cos2}$ より位相が遅れ方向にずれる。ステアリングシャフト36に右回転方向のトルクが印加されたときの2次側 $\cos$ 波 $V_{cos2}$ に対する2次側加算波形 $V_{plus2}$ の位相差（共にリファレンス電圧 $V_{ref}$ を示すときの位相差）を「R2」で示す。

#### 【0069】

また、3次側検出コイル22においても、第1の3次側検出コイル22aと第2の3次側検出コイル22bのインダクタンスのバランスが崩れることから、図9に示すように、励磁信号 $V_{sin}$ と同位相の3次側出力 $V_3$ が生じる。このため、3次側加算波形 $V_{plus3}$ は、3次側 $\cos$ 波 $V_{cos3}$ より位相が進み方向にずれる。ステアリングシャフト36に右回転方向のトルクが印加されたときの3次側 $\cos$ 波 $V_{cos3}$ に対する3次側加算波形 $V_{plus3}$ の位相差（共にリファレンス電圧 $V_{ref}$ を示すときの位相差）を「R3」で示す。

#### 【0070】

ステアリングシャフト36に左回転方向のトルクが印加されたときの2次側加

算波形などの各波形を図 10 に示すと共に、3 次側加算波形などの各波形を図 11 に示す。

#### 【0071】

2 次側出力  $V_2$  は、図 10 に示すように、右回転方向のトルクが印加されたときのそれに対して 180 度位相がずれた波形となる。従って、2 次側  $\cos$  波  $V_{\cos 2}$  と 2 次側加算波形  $V_{plus 2}$  の位相差（共にリファレンス電圧  $V_{ref}$  を示すときの位相差。「L2」で示す）も 180 度反対となり、2 次側  $\cos$  波  $V_{\cos 2}$  より位相が進み方向にずれる。また、3 次側出力  $V_3$  も、図 11 に示すように、右回転方向のトルクが印加されたときのそれに対して 180 度位相がずれた波形となり、3 次側  $\cos$  波  $V_{\cos 3}$  と 3 次側加算波形  $V_{plus 3}$  の位相差（共にリファレンス電圧  $V_{ref}$  を示すときの位相差。「L3」で示す）も 180 度反対となる。即ち、3 次側  $\cos$  波  $V_{\cos 3}$  より位相が遅れ方向にずれる。

#### 【0072】

図 12 に、印加されるトルクに対する 2 次側出力  $V_2$  と 3 次側出力  $V_3$  の関係を示す。前述の如く、2 次側検出コイル 20 を負電圧側同士の差動結合としたのに対し、3 次側検出コイル 22 を正電圧側同士の差動結合としたため、2 次側出力  $V_2$  と 3 次側出力  $V_3$  は印加されるトルクに対して相反する特性を有する。

#### 【0073】

このため、2 次側出力  $V_2$  と 3 次側出力  $V_3$  のそれぞれにバイアス電圧を印加し、よって得た波形（即ち、2 次側加算波形  $V_{plus 2}$  と 3 次側加算波形  $V_{plus 3}$ ）とバイアス電圧（即ち、2 次側  $\cos$  波  $V_{\cos 2}$  と 3 次側  $\cos$  波  $V_{\cos 3}$ ）の位相差の方向と大きさを検出することで、印加されたトルクの方角と大きさを正確に検出することができる。

#### 【0074】

ここで、励磁コイル 16 に発生する自己誘導電圧は、印加される電圧に対して逆向きの起電力となるため、実際に励磁コイル 16 に供給される励磁信号  $V_{sin}$  と 90 度の位相差を有する。従って、励磁信号  $V_{sin}$  の位相を 90 度ずらした波形をバイアス電圧とすることで前記位相差が最大となり、かつ左右のトルク

に対して同一の位相差を得ることができる。換言すれば、トルクの検出感度が最大となると共に、左右のトルクに対して同一の感度を得ることができる。

#### 【0075】

これについて、図13および図14を参照して説明する。図13は、2次側出力 $V_2$ に2次側 $\cos$ 波 $V_{\cos 2}$ を加えたときのベクトル合成を示す説明図（フェーザ図）である。また、図14は、2次側出力 $V_2$ に、励磁信号 $V_{\sin}$ に対して60度位相ずれしたバイアス電圧を加えたときのベクトル合成を示す説明図（フェーザ図）である。両図において、 $V_2$ （+）はステアリングシャフト36に右回転方向のトルクが印加されたときの2次側出力 $V_2$ を示し、 $V_2$ （-）は左回転方向のトルクが印加されたときの2次側出力 $V_2$ を示す。

#### 【0076】

図13および図14において、 $\theta_R$ は励磁信号が生成されてから実際に励磁コイル16に供給されるまでの間に直流抵抗成分によって生じる位相差である。この $\theta_R$ が生じることから、前述の2次側および3次側バイアス電圧生成部80, 82では、実際に励磁コイル16に供給される励磁信号 $V_{\sin}$ の位相を所定量ずらして2次側および3次側 $\cos$ 波 $V_{\cos 2}$ ,  $V_{\cos 3}$ を得るようにした。

#### 【0077】

図13に示すように、右回転方向のトルクが印加されたときの2次側出力 $V_2$ を示すベクトルに、2次側 $\cos$ 波 $V_{\cos 2}$ を示すベクトルを加算して合成することで、2次側加算波形 $V_{plus 2}$ を示すベクトル（ $V_{plus 2}$ （+））と2次側 $\cos$ 波 $V_{\cos 2}$ を示すベクトルのなす角度、即ち、位相差を最大とすることができる。また、同図から、2次側出力 $V_2$ の電圧値が大きくなってそのベクトルが大きくなるに従って、2次側加算波形 $V_{plus 2}$ を示すベクトルと2次側 $\cos$ 波 $V_{\cos 2}$ を示すベクトルのなす角度が大きくなり、位相差が大きくなることが分かる。即ち、トルクが印加されることによって発生する透磁率の増減を電圧値で検出し、さらにその電圧値の変化を位相の変化で記述することができる。

#### 【0078】

尚、図14に示すように、右回転方向のトルクが印加されたときの2次側出力  $V_2$  を示すベクトルに90度以外のバイアス電圧、例えば60度のバイアス電圧を加えることによって、2次側加算波形  $V_{plus2}$  を示すベクトルとバイアス電圧を示すベクトルのなす角度、即ち、位相差は増大するが、90度の2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  を加えた場合に比して、その増加量は小さくなる。

#### 【0079】

また、同じ60度のバイアス電圧を、左回転方向のトルクが印加されたときの2次側出力  $V_2$  を示すベクトル ( $V_2(-)$ ) に加算すると、2次側加算波形  $V_{plus2}$  を示すベクトル ( $V_{plus2}(-)$ ) と2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  を示すベクトルとのなす角度が、右回転方向のトルクが印加されたときのそれと相違するという不具合がある。即ち、入力されるトルクの大きさが同じでも、入力方向によって位相の変化量(ずれ量)が相違するため、右回転方向のトルクと左回転方向のトルクで検出感度が一致しないという不都合がある。

#### 【0080】

これに対し、図13に示すように、+90度の2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  を加算することで、左右の角度の変化量(位相の変化量(ずれ量)の絶対値)を一致させることができ、よって右回転方向のトルクと左回転方向のトルクの検出感度を一致させることができる。

#### 【0081】

尚、3次側出力  $V_3$  と3次側  $\cos$  波  $V_{cos3}$  のベクトル合成については、図13および図14において括弧内に記載した+と-が逆になると共に、+90度を示すベクトルの代わりに、それと逆向きの-90度を示すベクトルが使用される以外、上記の説明がそのまま妥当する。

#### 【0082】

このように、励磁コイル16に供給される励磁信号  $V_{sin}$  の位相を所定量ずらして得たバイアス電圧と2次側および3次側検出コイル20, 22の出力  $V_2$ ,  $V_3$  を加算するようにしたので、加算値である2次側および3次側加算波形  $V_{plus2}$ ,  $V_{plus3}$  と、その比較対象であるバイアス電圧(即ち、2次側および3次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$ ,  $V_{cos3}$ ) との位相のずれを大きくして検

出感度を向上させることができるため、トルクの検出精度を向上させることができる。

#### 【0083】

さらに、前記バイアス電圧を、励磁信号  $V_{sin}$  の位相を  $90^\circ$  進めて生成した2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  と、励磁信号  $V_{sin}$  の位相を  $90^\circ$  遅せて生成した3次側  $\cos$  波  $V_{cos3}$  とすることで、2次側および3次側加算波形  $V_{plus2}$ 、 $V_{plus3}$  と2次側および3次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$ 、 $V_{cos3}$  との位相ずれが最大となって検出感度を一層向上させることができると共に、左右のトルクに対しても検出感度が同一となるため、より一層検出精度を向上させることができる。このため、運転者からステアリングホイール34を介して印加される操舵トルクを精度良く検出することができ、よって電動パワーステアリングの操舵フィーリングを一層向上させることができる。

#### 【0084】

尚、2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  と3次側  $\cos$  波  $V_{cos3}$  の位相を  $180^\circ$  ずらして ( $90^\circ$  と  $-90^\circ$  に) 設定したのは、図15に示すように、例えば処理回路28が温度変化などの影響を受けて2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  と3次側  $\cos$  波  $V_{cos3}$  のそれぞれの位相にバラツキが生じても、それぞれのベクトルは同じ回転方向に動くことから、2次側と3次側でその影響が相殺されるためである。

#### 【0085】

図3の説明に戻ると、位相比較部90は、上記した2次側加算波形  $V_{plus2}$  と2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  の位相差 (ずれ) を検出する。具体的には、論理積回路 (素子)、より具体的にはAND回路 (2次側AND回路。図示せず) に励磁信号  $V_{sin}$  と2次側加算波形  $V_{plus2}$  を入力し、印加トルクの大きさと方向 (換言すれば、2次側加算波形  $V_{plus2}$  と2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  の位相差) に対応した矩形波を得る。これを2次側検出トルク  $V_{t2}$  とする。

#### 【0086】

さらに、位相比較部90は、3次側加算波形  $V_{plus3}$  を図示しないインバータで反転させて得た波形 (以下、「反転後3次側加算波形  $V_{plus3inv}$ 」

」という)と3次側  $\cos$  波  $V_{\cos 3}$  の位相差 (ずれ) を検出する。具体的には、論理積回路 (素子)、より具体的にはAND回路 (3次側AND回路。図示せず) に励磁信号  $V_{\sin}$  と反転後3次側加算波形  $V_{plus3inv}$  を入力し、印加トルクの大きさと方向 (換言すれば、反転後3次側加算波形  $V_{plus3inv}$  と3次側  $\cos$  波  $V_{\cos 3}$  の位相差) に対応した矩形波を得る。これを3次側検出トルク  $V_{t3}$  とする。図6から図11の下部に、反転後3次側加算波形  $V_{plus3inv}$ 、2次側検出トルク  $V_{t2}$  および3次側検出トルク  $V_{t3}$  などを示す各矩形波を示す。

#### 【0087】

図6から図11に示す如く、2次側検出トルク  $V_{t2}$  は、2次側加算波形  $V_{plus2}$  と励磁信号  $V_{\sin}$  の両方がリファレンス電圧  $V_{ref}$  以上となったときにH (High) 信号 (レベル) とされ、いずれか一方がリファレンス電圧  $V_{ref}$  を下回るときはL (Low) 信号 (レベル) とされる。また、3次側検出トルク  $V_{t3}$  は、反転後3次側加算波形  $V_{plus3inv}$  と励磁信号  $V_{\sin}$  の両方がリファレンス電圧  $V_{ref}$  以上となったときにH信号とされ、いずれか一方がリファレンス電圧  $V_{ref}$  を下回るときにL信号とされる。尚、理解の便宜のため、図6から図11において、H信号の出力期間をハッチングで示す。

#### 【0088】

図6と図7を比較して分かるように、印加されるトルクが零のときは、2次側検出トルク  $V_{t2}$  と3次側検出トルク  $V_{t3}$  は常に同一の出力を示す。他方、図8と図9に示すように右回転方向のトルクが印加されると、印加トルクの大きさに比例して2次側検出トルク  $V_{t2}$  のH信号の出力時間が延長される一方、3次側検出トルク  $V_{t3}$  のH信号の出力時間が短縮される。また、図10と図11に示すように、左回転方向のトルクの印加されると、印加トルクの大きさに比例して2次側検出トルク  $V_{t2}$  のH信号の出力時間が短縮される一方、3次側検出トルク  $V_{t3}$  のH信号の出力時間が延長される。

#### 【0089】

このように、2次側検出トルク  $V_{t2}$  は、2次側加算波形  $V_{plus2}$  と2次側  $\cos$  波  $V_{\cos 2}$  の位相差、即ち、印加トルクの大きさと方向に応じてH信



号の出力時間が増減する。また、3次側検出トルク  $V_{t3}$  も、反転後3次側加算波形  $V_{plus3inv}$  と3次側  $\cos$  波  $V_{cos3}$  の位相差、即ち、印加トルクの大きさと方向に応じてH信号の出力時間が増減する。そして、2次側検出トルク  $V_{t2}$  と3次側検出トルク  $V_{t3}$  は、印加トルクの方角に対して相反する出力を示すので、それらの差分をとることで、ステアリングシャフト36に印加されたトルクの方角と大きさを感度良く検出することができる。

#### 【0090】

尚、図6から図11において、リファレンス電圧  $V_{ref}$  は前記したように励磁信号の midpoint を正確に示していることから、励磁信号  $V_{sin}$  を所定量位相させて得た2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  や3次側  $\cos$  波  $V_{cos3}$  の midpoint、さらには2次側出力  $V_2$  や3次側出力  $V_3$  の midpoint も正確に示される。従って、2次側加算波形  $V_{plus2}$  や3次側加算波形  $V_{plus3}$  (および反転後3次側加算波形  $V_{plus3inv}$ ) の midpoint も正確に示される。

#### 【0091】

そのため、2次側  $\cos$  波  $V_{cos2}$  と2次側加算波形  $V_{plus2}$  の位相差、および3次側  $\cos$  波  $V_{cos3}$  と反転後3次側加算波形  $V_{plus3inv}$  の位相差を正確に検出することができ、トルクの検出精度を向上させることができる。従って、運転者からステアリングホイール34を介して印加される操舵トルクを精度良く検出することができ、よって電動パワーステアリングの操舵フィーリングを一層向上させることができる。尚、この実施の形態にあって、検出波形の振幅の大きさは検出していないが、上記の如く、この実施の形態に係るトルクセンサ10は検出波形の振幅の midpoint を正確に知ることができるため、振幅の大きさを精度良く検出することも可能である。

#### 【0092】

図3の説明に戻ると、位相比較部90から出力された2次側検出トルク  $V_{t2}$  と3次側検出トルク  $V_{t3}$  は、それぞれCRフィルタ(平滑回路)92, 94を介して平滑化された後、ECU60に入力されると共に、差動増幅部96に入力されて前記した差分が増幅される。差動増幅部96の出力は、最終的な検出トルク  $V_{tf}$  としてECU60に入力される。

**【0093】**

ECU60は、入力された最終的な検出トルク $V_{tf}$ （および2次側検出トルク $V_{t2}$ と3次側検出トルク $V_{t3}$ ）に基づき、ステアリングシャフト36に入力されたトルク（操舵トルク）の方向と大きさを検出する。

**【0094】**

このように、励磁信号の位相を所定量ずらして得たバイアス電圧を2次側出力 $V_2$ および3次側出力 $V_3$ のそれぞれに加算し、よって得た2次側加算波形 $V_{p1us2}$ と3次側加算波形 $V_{p1us3}$ （具体的には、それを反転させて得た反転後3次側加算波形 $V_{p1us3inv}$ ）のそれぞれをバイアス電圧と位相で比較し、その位相差に基づいてトルクを検出する、即ち、トルクの印加によって発生する透磁率の増減を電圧値の変化で検出し、その電圧値の変化を位相で検出するようにしたので、電圧値の変化のみでトルクを検出する場合に比して検出感度が高くなると共に、検出電圧が微弱であっても電動機54などの通電電流からのノイズの影響を受け難くなり、よってトルクの検出精度を向上させることができる。

**【0095】**

さらには、相反する特性を有する2次側出力 $V_2$ と3次側出力 $V_3$ （具体的には、それらから求められる2次側検出トルク $V_{t2}$ と3次側検出トルク $V_{t3}$ ）のそれぞれに基づいて前記位相差を検出し、それらの差分を増幅してトルクを検出するようにしたので、検出感度がより向上し、差動増幅部96による増幅率を小さくすることができ、他の電気機器からのノイズの影響を受け難くなり（即ち、ノイズが増幅されないため、S/N比を大きくすることができ）、よってトルクの検出精度を一層向上させることができる。また、温度変化に起因するインダクタンスの変化および差動増幅部96の増幅率の変化を2つの出力（位相差）で相殺することができるため、その影響を解消して安定した検出特性を得ることができる。

**【0096】**

また、2次側出力 $V_2$ と3次側出力 $V_3$ に加算されるバイアス電圧を、それぞれ励磁信号の位相を90度または-90度ずらすことによって生成したので、バ

イアス電圧（2次側  $\cos$  波  $V_{\cos 2}$  と 3次側  $\cos$  波  $V_{\cos 3}$ ）に対する加算波形（2次側加算波形  $V_{plus 2}$  と 3次側加算波形  $V_{plus 3}$ （具体的には、それを反転させて得た反転後 3次側加算波形  $V_{plus 3 inv}$ ））の位相差が最大となって検出感度を一層向上させることができると共に、トルクの入力方向が異なっても検出感度が一致するため、より一層検出精度を向上させることができる。

#### 【0097】

図3の説明を続けると、2次側加算波形  $V_{plus 2}$  と 3次側加算波形  $V_{plus 3}$ （インバータで反転させる前の波形）は、さらに故障検出部 98 に入力される。

#### 【0098】

ここで、トルクセンサ 10 が正常な状態にある場合、2次側加算波形  $V_{plus 2}$  は、図6、図8および図10に示すように、トルクの印加の有無に関わらず、励磁信号  $V_{sin}$  の電圧値がリファレンス電圧  $V_{ref}$  を上回る瞬間（下側の振幅から上側の振幅に移行する瞬間）において常に H 信号を示すと共に、励磁信号  $V_{sin}$  の電圧値がリファレンス電圧  $V_{ref}$  を下回る瞬間（上側の振幅から下側の振幅に移行する瞬間）において常に L 信号を示す。また、3次側加算波形  $V_{plus 3}$  は、図7、図9および図11に示すように、トルクの印加の有無に関わらず、励磁信号  $V_{sin}$  の電圧値がリファレンス電圧  $V_{ref}$  を上回る瞬間において常に L 信号を示すと共に、励磁信号  $V_{sin}$  の電圧値がリファレンス電圧  $V_{ref}$  を下回る瞬間において常に H 信号を示す。しかしながら、トルクセンサ 10 に故障が発生すると、上記した出力の関係が崩れる場合がある。

#### 【0099】

そこで、故障検出部 98 は、2次側加算波形  $V_{plus 2}$  と 3次側加算波形  $V_{plus 3}$  の出力を励磁信号  $V_{sin}$  の立ち上がりと立ち下がりタイミングで検出し、検出値が上記した関係にないとき、トルクセンサ 10 の故障を示す信号を生成して ECU 60 に出力するようにした。

#### 【0100】

ECU 60 は、故障検出部 98 からトルクセンサ 10 の故障を示す信号が出力

されたとき、前記した警告灯 66 を点灯させて運転者に警報する。

#### 【0101】

ここで、前述の如く、励磁信号  $V_{sin}$  を ECU60 のクロック周波数（動作周波数）に基づいて生成するようにしたので、励磁信号  $V_{sin}$  の立ち上がりと立ち下がりのタイミングにおける 2 次側加算波形  $V_{plus2}$  と 3 次側加算波形  $V_{plus3}$  の検出を、ECU60 の処理に同期して行うことができる。即ち、トルクセンサ 10 が出力を生じてから ECU60 で故障検出が行なわれるまでの時間的な遅れを解消することができる。このため、この実施の形態に係るトルクセンサ 10 にあっては、故障検出をできる限り早く（タイムリーに）行なう必要があるという、車両に搭載されるセンサに対する要求を十分に満足することができる。

#### 【0102】

また、検出コイルを 2 系統（2 次側と 3 次側）備え、それらの出力に基づいてトルクセンサ 10 の故障を検出するようにしたので、トルクセンサ 10 の故障をより正確に検出することができる。

#### 【0103】

以上のように、この実施の形態に係るトルクセンサにあっては、トルク伝達軸 12（およびステアリングシャフト 36）に固定される磁歪膜 14 にそれぞれ近接して配置される励磁コイル 16 および検出コイル（2 次側検出コイル 20 と 3 次側検出コイル 22）と、励磁信号  $V_{sin}$  を生成して前記励磁コイル 16 に供給する励磁信号生成部（帯域 2 次フィルタ 74、反転増幅部 76、RC フィルタ 78）と、前記励磁コイルが励磁されたときの前記検出コイルの出力（2 次側出力  $V_2$  と 3 次側出力  $V_3$ ）を入力して入力値から前記トルク伝達軸 12 に印加されるトルク（2 次側検出トルク  $V_{t2}$ 、3 次側検出トルク  $V_{t3}$ 、最終的な検出トルク  $V_{tf}$ ）を検出するマイクロコンピュータ（ECU60）とを備えたトルクセンサ 10 において、前記励磁信号生成部は、前記マイクロコンピュータのクロック周波数に基づいて前記励磁信号を生成するように構成した。

#### 【0104】

また、前記励磁信号生成部は、前記マイクロコンピュータのクロック周波数を

(分周器 60a で) 分周して得た矩形波からアナログ回路 (帯域 2 次フィルタ 74、反転増幅部 76、RC フィルタ 78) を介して所定の周波数の正弦波を生成し、前記生成した正弦波から前記励磁信号  $V \sin$  を生成するように構成した。

#### 【0105】

また、前記トルクセンサ 10 は、前記検出コイルを複数個 (2 次側検出コイル 20 と 3 次側検出コイル 22) 備えると共に、前記励磁コイルが励磁されたときの前記複数個の検出コイルのそれぞれの出力  $V_2$ 、 $V_3$ 、より具体的には、それらに基づいて生成される 2 次側加算波形  $V_{plus2}$  と 3 次側加算波形  $V_{plus3}$  に基づいて前記トルクセンサ 10 の故障を検出する故障検出部 98 を備えるように構成した。

#### 【0106】

また、前記トルクセンサ 10 は、電動機 (電動モータ) 64 によって車両 30 の操舵トルクを補助する電動パワーステアリング装置の前記操舵トルクを検出するトルクセンサである如く構成した。

#### 【0107】

尚、上記において、この発明に係るトルクセンサ 10 を、電動パワーステアリング装置に入力される操舵トルクを検出する場合を例にとって説明したが、トルクセンサ 10 の用途はそれに限定されるものではないことは言うまでもない。

#### 【0108】

##### 【発明の効果】

請求項 1 項にあっては、励磁コイルに供給する励磁信号をマイクロコンピュータのクロック周波数 (動作周波数) に基づいて生成する、即ち、デジタル信号から励磁信号を生成するように構成したので、温度変化や電源電圧の変動の影響を受け難い安定した励磁信号を供給することができるため、トルクの検出精度を向上させることができる。また、マイクロコンピュータとトルクセンサの動作が同期することから、トルクセンサが出力を生じてからマイクロコンピュータで故障検出が行なわれるまでの時間的な遅れを解消することができる。

#### 【0109】

請求項 2 項にあっては、マイクロコンピュータのクロック周波数を分周して得

た矩形波からアナログ回路を介して所定の周波数の正弦波を生成し、その正弦波から励磁信号を生成するように構成したので、マイクロコンピュータのプログラミングを変更してアナログ回路に入力される矩形波の周波数を調整することができる。具体的には、クロック周波数をカウントするカウンタの設定値（カウント値）を変更して分周比を変更することにより、アナログ回路に入力される矩形波の周波数を、アナログ回路の特性（特に、所定の周波数のみを通過させる帯域2次フィルタ（バンドパスフィルタ）の特性）に対応した値に設定することができる。このため、アナログ回路の特性に個体差が生じた場合であっても、ノイズを含まない励磁信号（正弦波）を生成することができ、よってトルクの検出精度を一層向上させることができる。

#### 【0110】

請求項3項にあっては、検出コイルを複数個備え、それらの出力に基づいてトルクセンサの故障を検出する故障検出部を備えるように構成したので、請求項1項および2項で述べた効果に加え、トルクセンサの故障をより正確に検出することができる。

#### 【0111】

請求項4項にあっては、請求項1項から3項に係るトルクセンサは上記した効果を有するので、車両に搭載される電動パワーステアリング装置に装着されるときも、運転者からステアリングホイールを介して印加される操舵トルクを精度良く検出でき、よって電動パワーステアリングの操舵フィーリングを向上させることができると共に、トルクセンサが出力を生じてからマイクロコンピュータで故障検出が行なわれるまでの時間的な遅れを解消することができる。さらに、請求項2項に係るトルクセンサであるときは、製品の出荷前に励磁信号を生成するアナログ回路の個体差に応じて分周比を最適に設定することで、ノイズを含まない励磁信号を生成することができるため、トルクの検出精度を一層向上させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

この発明の一つの実施の形態に係るトルクセンサを模式的に示す原理図である

。

**【図 2】**

図 1 に示すトルクセンサを電動パワーステアリング装置の操舵トルクを検出するトルクセンサとして利用した場合を示す説明図である。

**【図 3】**

図 1 に示すトルクセンサの構造をより詳細に示すブロック図である。

**【図 4】**

図 1 に示すトルクセンサのリファレンス電圧を示す説明図である。

**【図 5】**

図 1 に示すトルクセンサのうち、センシング部を拡大して示す説明図である。

**【図 6】**

図 1 に示すトルクセンサにおいてトルク伝達軸にトルクが印加されていないときの 2 次側検出コイルなどの出力（電圧波形）を示す説明グラフである。

**【図 7】**

図 1 に示すトルクセンサにおいてトルク伝達軸にトルクが印加されていないときの 3 次側検出コイルなどの出力（電圧波形）を示す説明グラフである。

**【図 8】**

図 1 に示すトルクセンサにおいてトルク伝達軸に右回転方向の印加トルクが入力されたときの 2 次側検出コイルなどの出力（電圧波形）を示す説明グラフである。

**【図 9】**

図 1 に示すトルクセンサにおいてトルク伝達軸に右回転方向の印加トルクが入力されたときの 3 次側検出コイルなどの出力（電圧波形）を示す説明グラフである。

**【図 10】**

図 1 に示すトルクセンサにおいてトルク伝達軸に左回転方向の印加トルクが入力されたときの 2 次側検出コイルなどの出力（電圧波形）を示す説明グラフである。

**【図 11】**

図 1 に示すトルクセンサにおいてトルク伝達軸に左回転方向の印加トルクが入力されたときの 3 次側検出コイルなどの出力（電圧波形）を示す説明グラフである。

【図 1 2】

図 1 に示すトルクセンサの 2 次側検出コイルと 3 次側検出コイルの、印加トルクに対する出力特性を示すグラフである。

【図 1 3】

図 1 に示すトルクセンサの 2 次側検出コイルの出力に 2 次側  $\cos$  波を加えたときのベクトル合成を示す説明図（フェーザ図）である。

【図 1 4】

図 1 に示すトルクセンサの 2 次側検出コイルの出力に励磁信号に対して 60 度位相ずれしたバイアス電圧を加えたときのベクトル合成を示す説明図（フェーザ図）である。

【図 1 5】

図 1 に示すトルクセンサの 2 次側検出コイルの出力に 2 次側  $\cos$  波と 3 次側  $\cos$  波を加えたときのベクトル合成を示す説明図（フェーザ図）である。

【符号の説明】

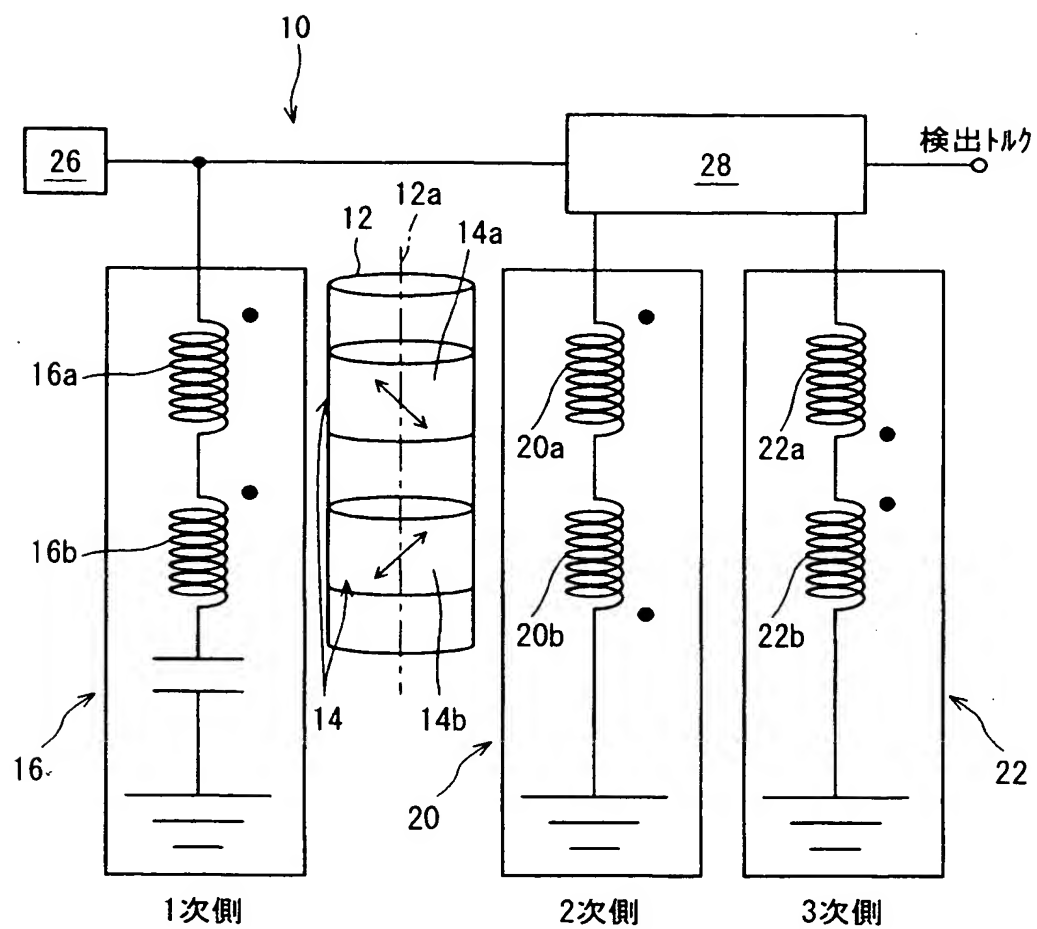
- 10 トルクセンサ
- 12 トルク伝達軸
- 14 磁歪膜
  - 14a 第 1 の磁歪膜
  - 14b 第 2 の磁歪膜
- 16 励磁コイル
  - 16a 第 1 の励磁コイル
  - 16b 第 2 の励磁コイル
- 20 2 次側検出コイル（検出コイル）
  - 20a 第 1 の 2 次側検出コイル
  - 20b 第 2 の 2 次側検出コイル
- 22 3 次側検出コイル（検出コイル）



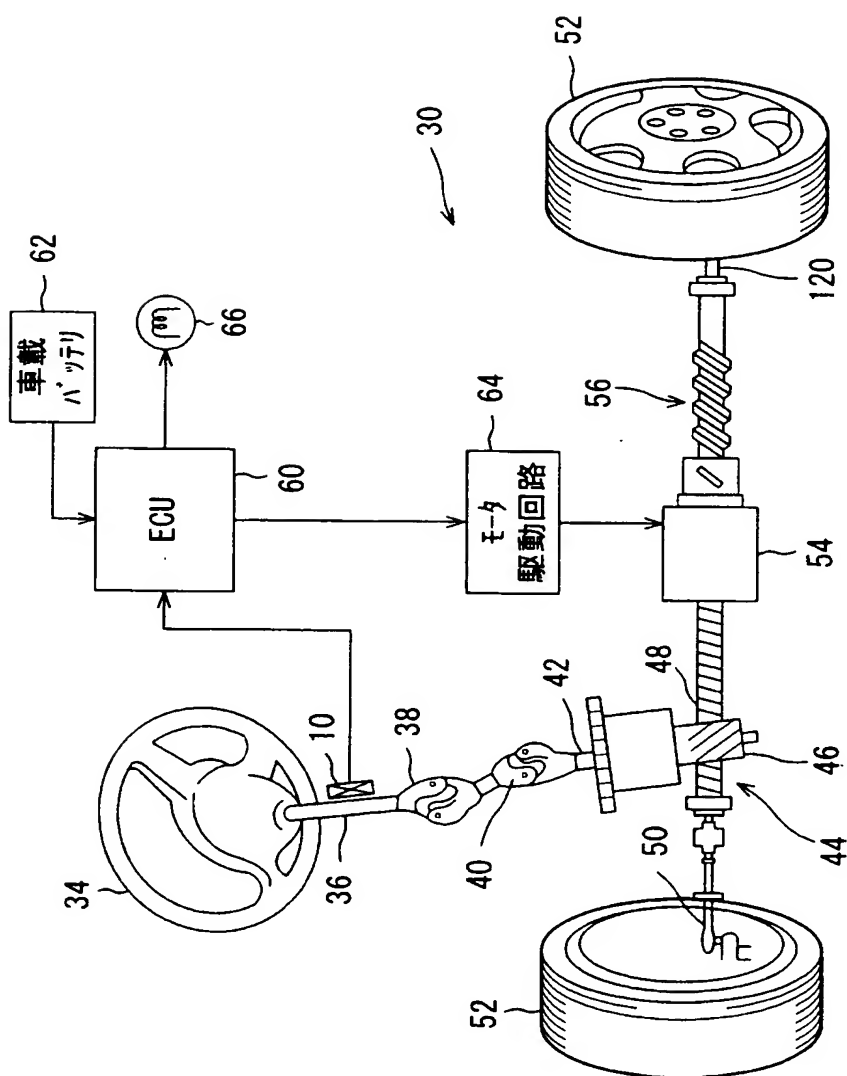
- 2 2 a 第 1 の 3 次側検出コイル
- 2 2 b 第 2 の 3 次側検出コイル
- 3 0 車両
- 3 6 ステアリングシャフト（トルク伝達軸）
- 5 4 電動機（電動モータ）
- 6 0 E C U（マイクロコンピュータ）
- 6 0 a 分周器
- 7 4 帯域 2 次フィルタ（励磁信号生成部）
- 7 6 反転増幅部（励磁信号生成部）
- 7 8 R C フィルタ（励磁信号生成部）
- 9 8 故障検出部

【書類名】 図面

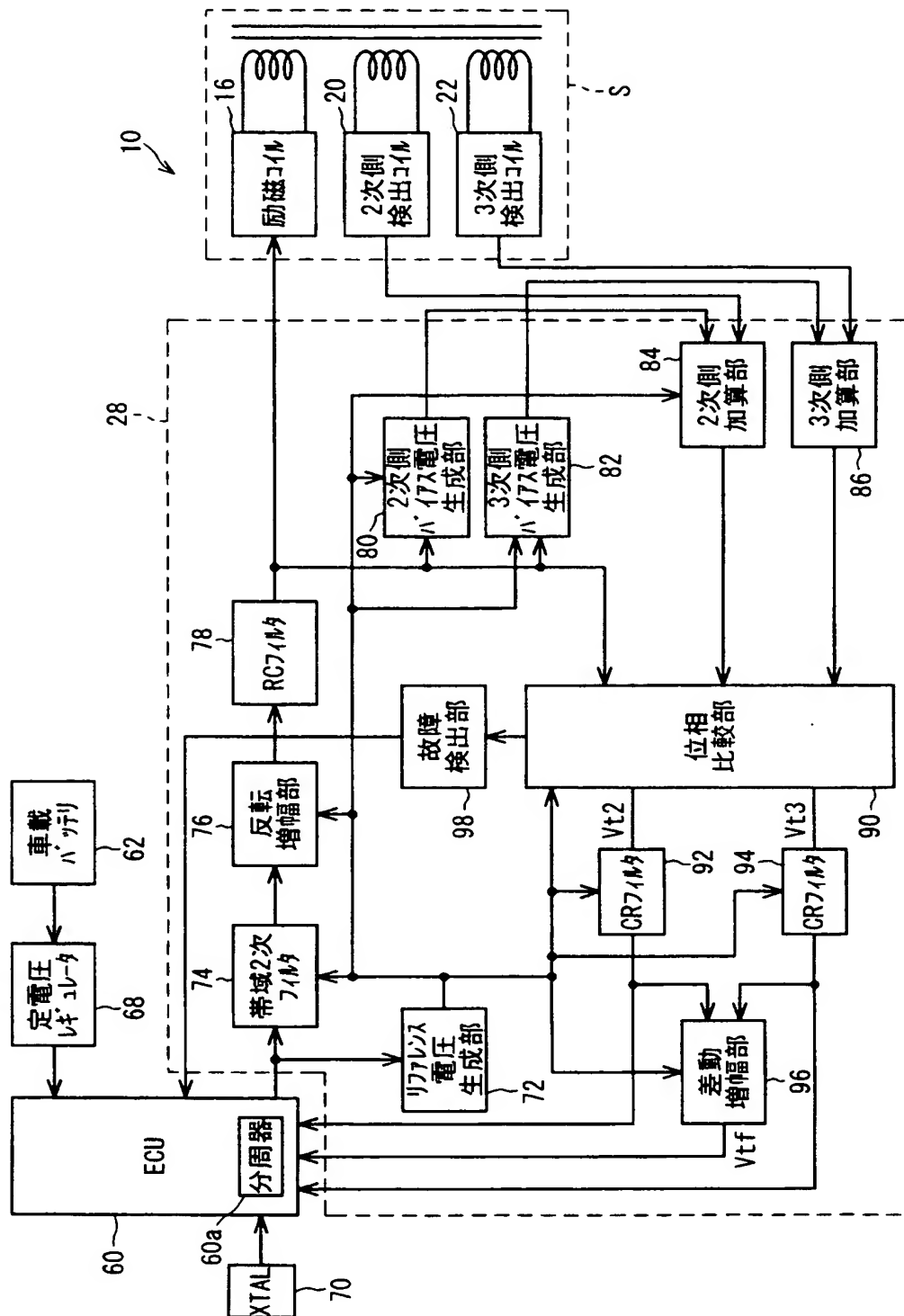
【図 1】



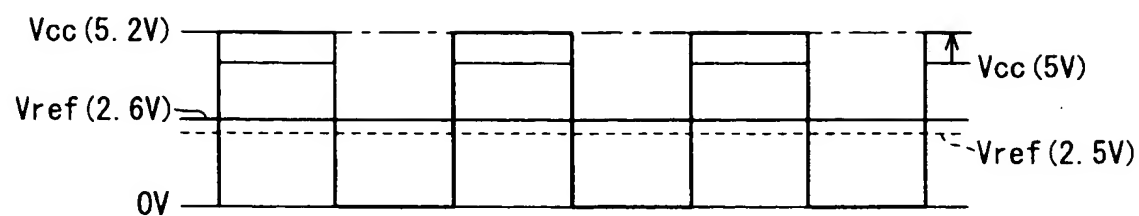
【圖 2】



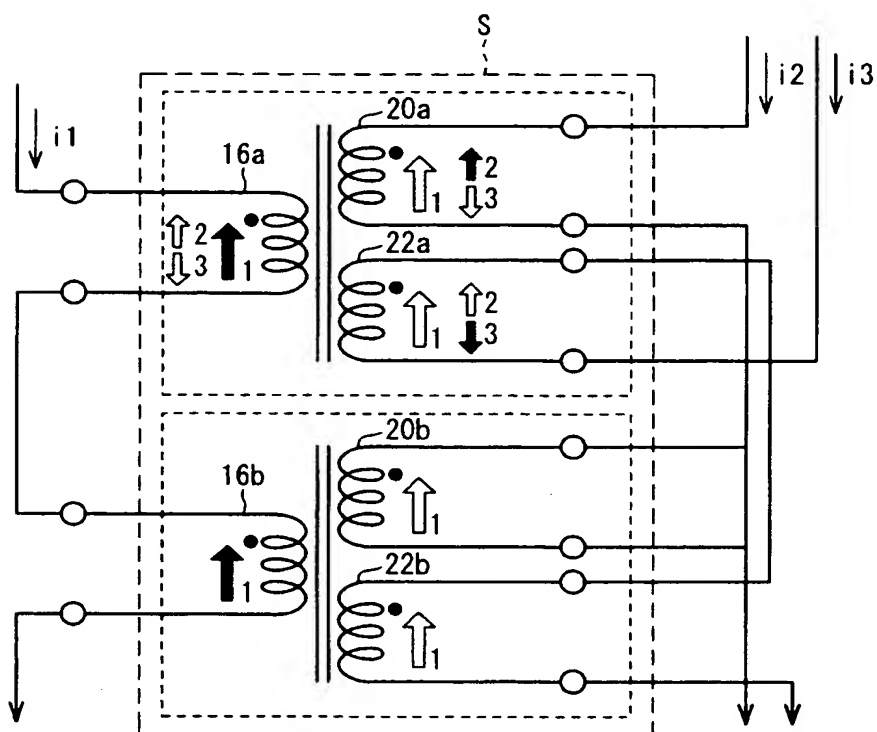
【図 3】



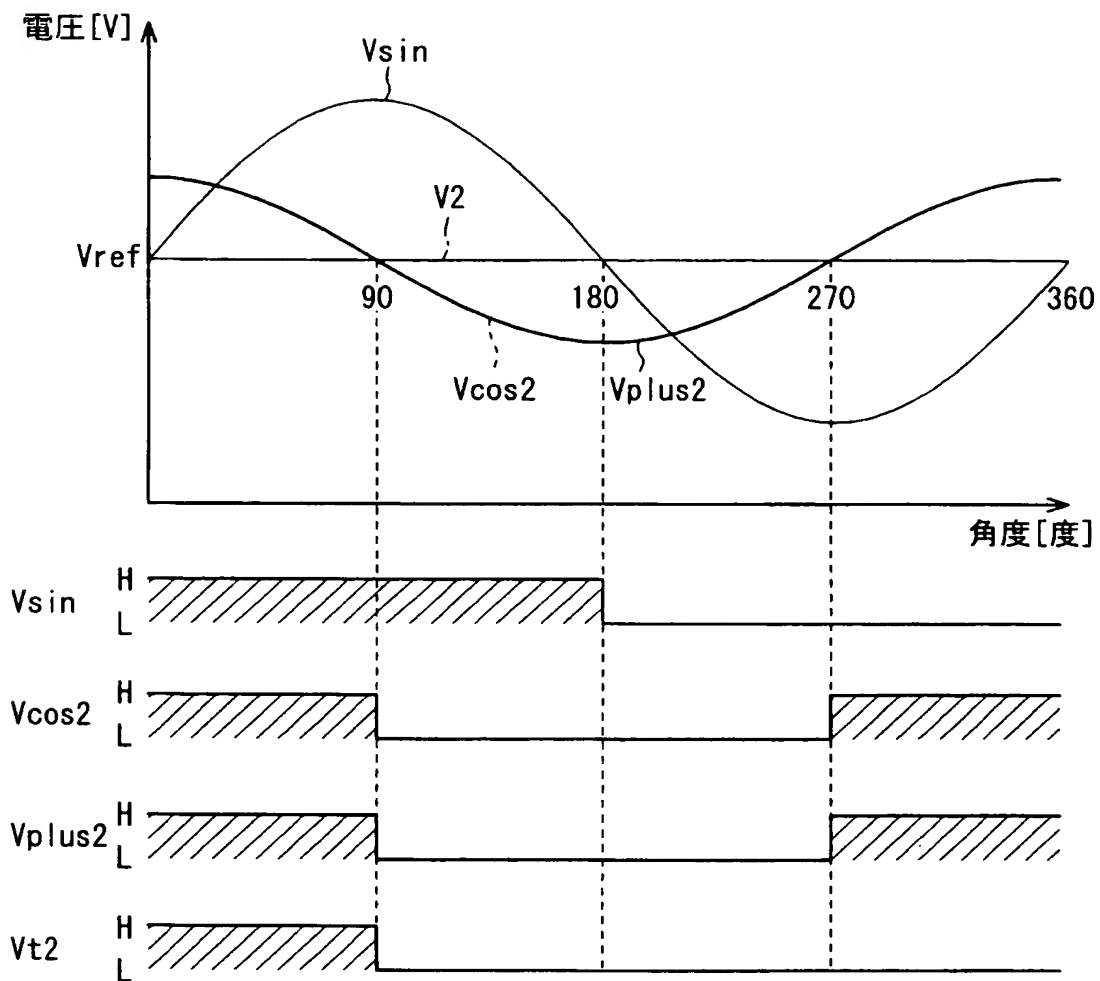
【図 4】



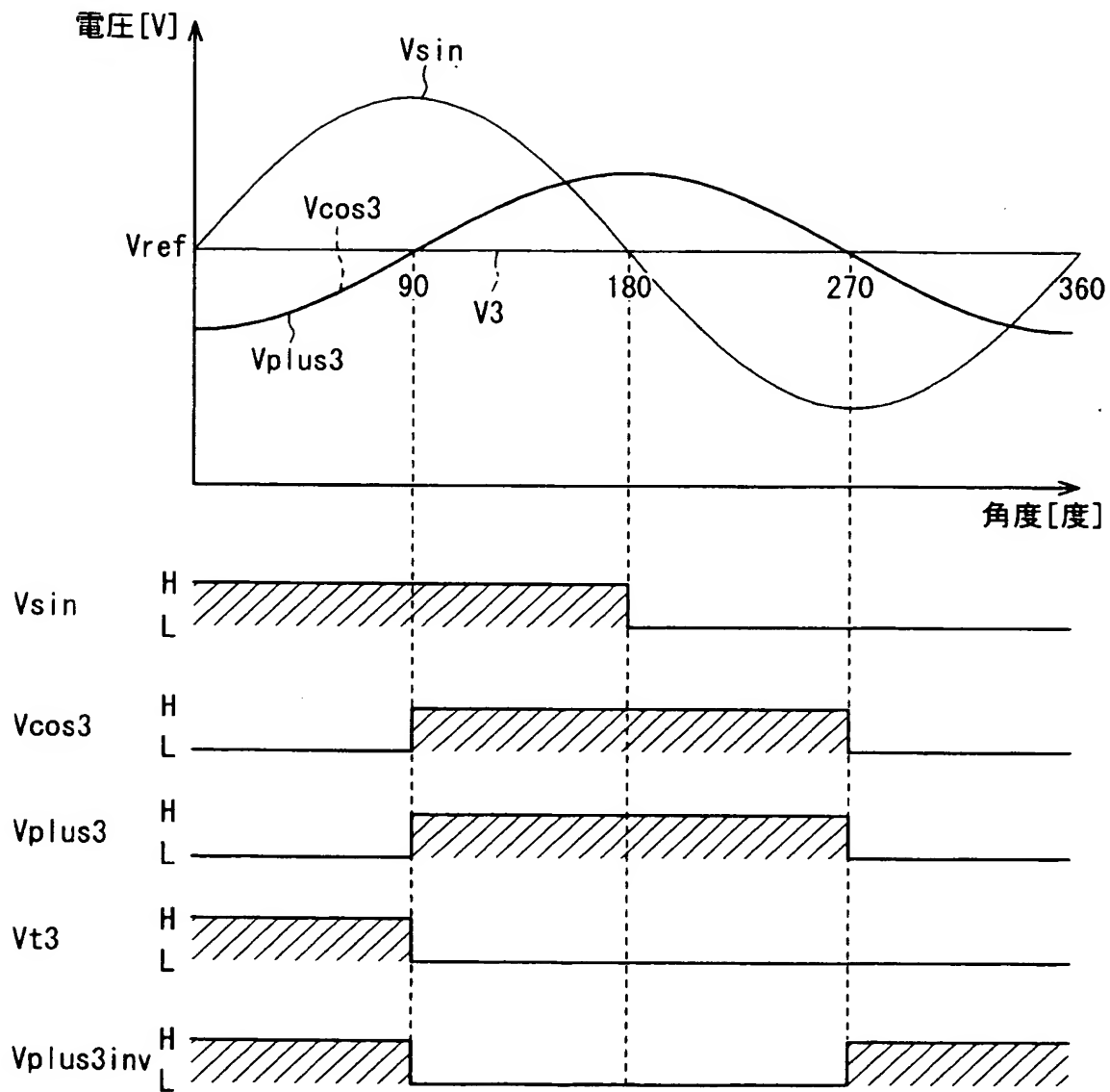
【図 5】



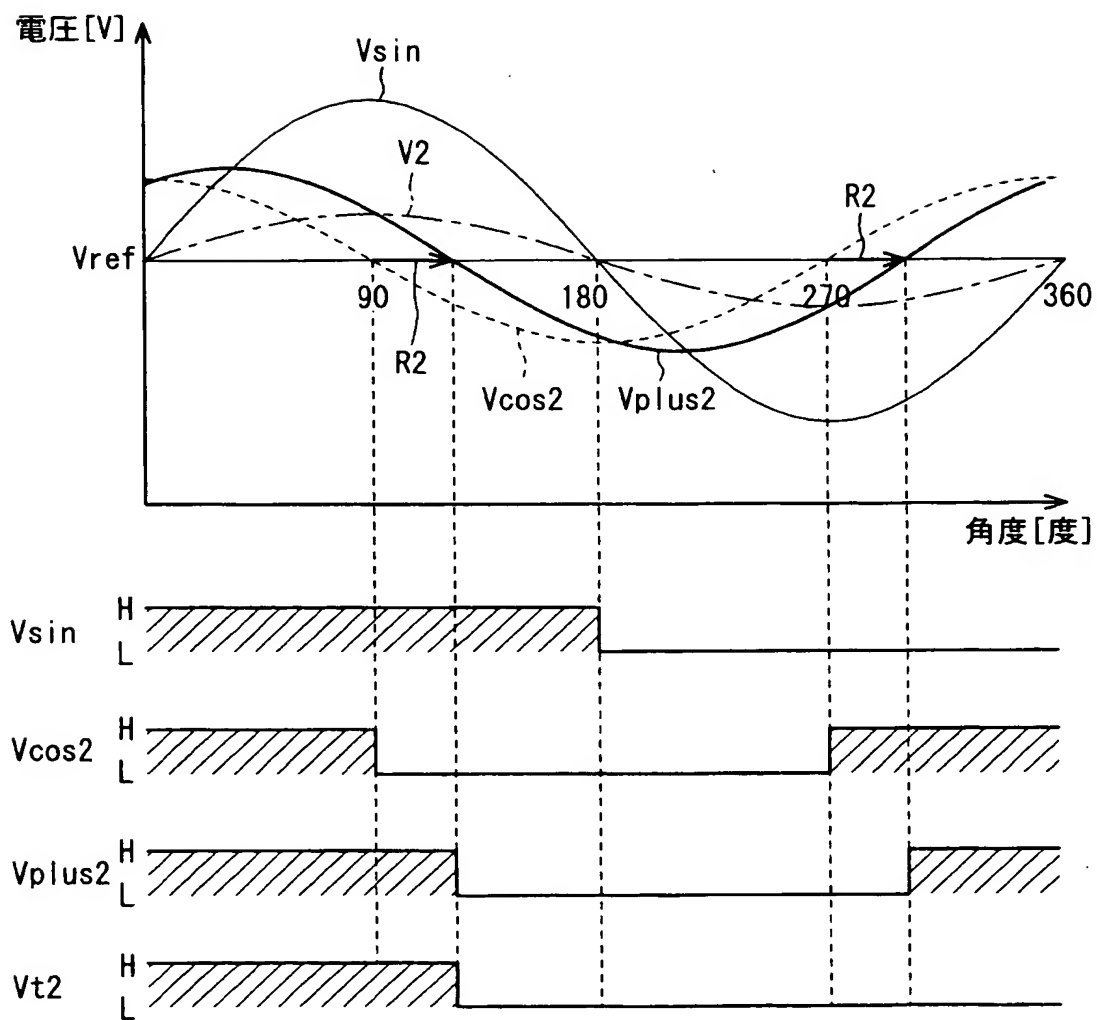
【図 6】



【図 7】

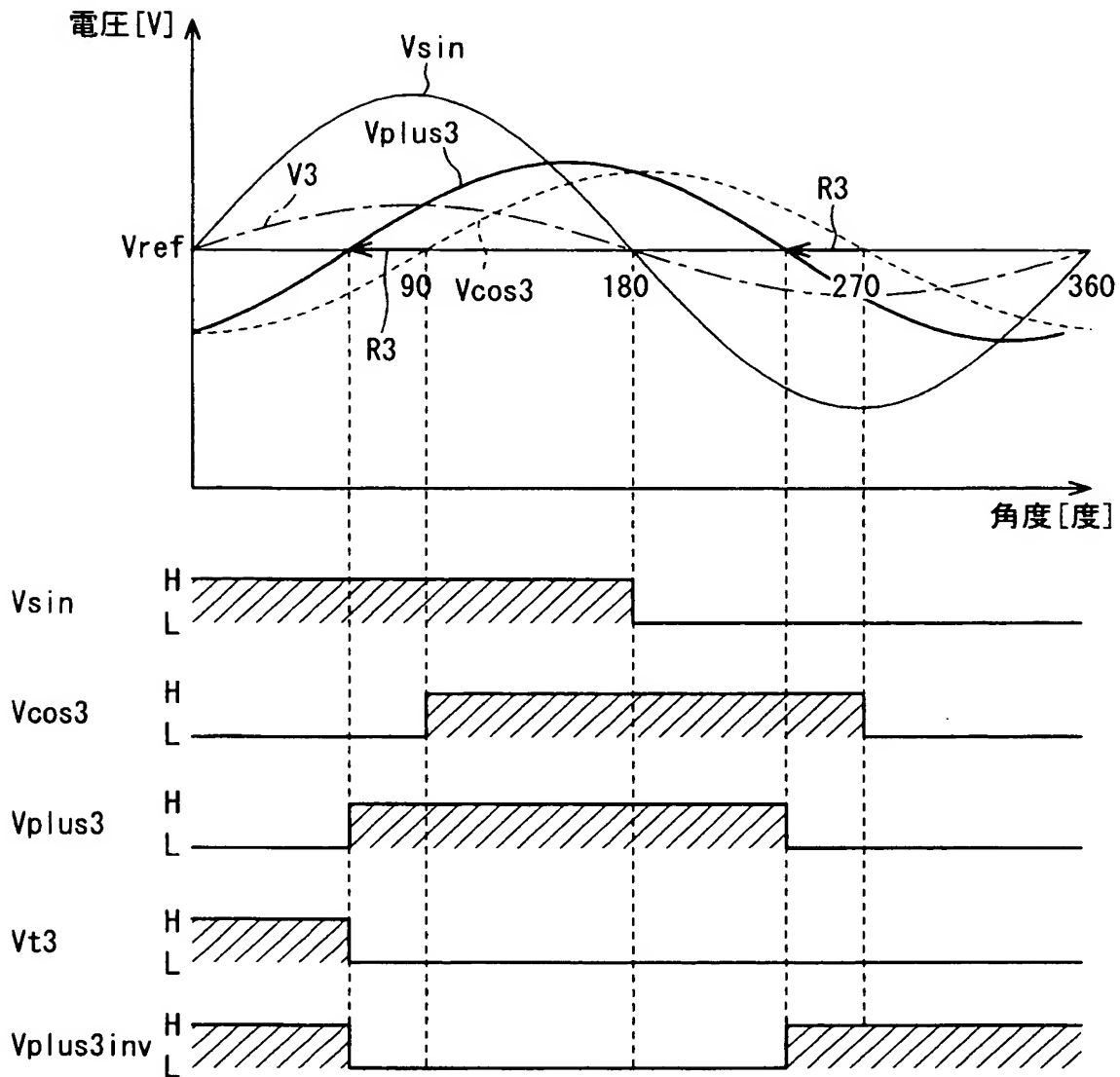


【図 8】

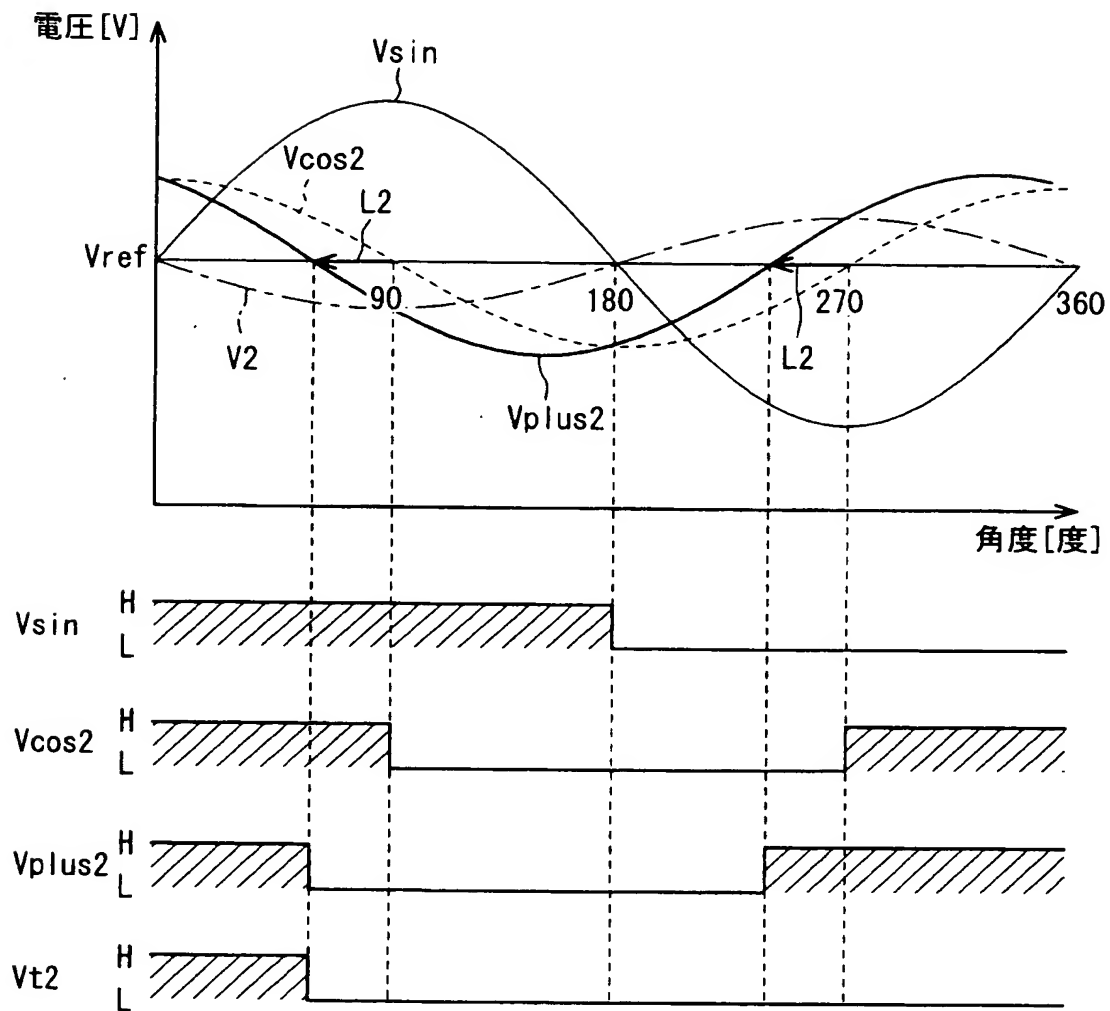




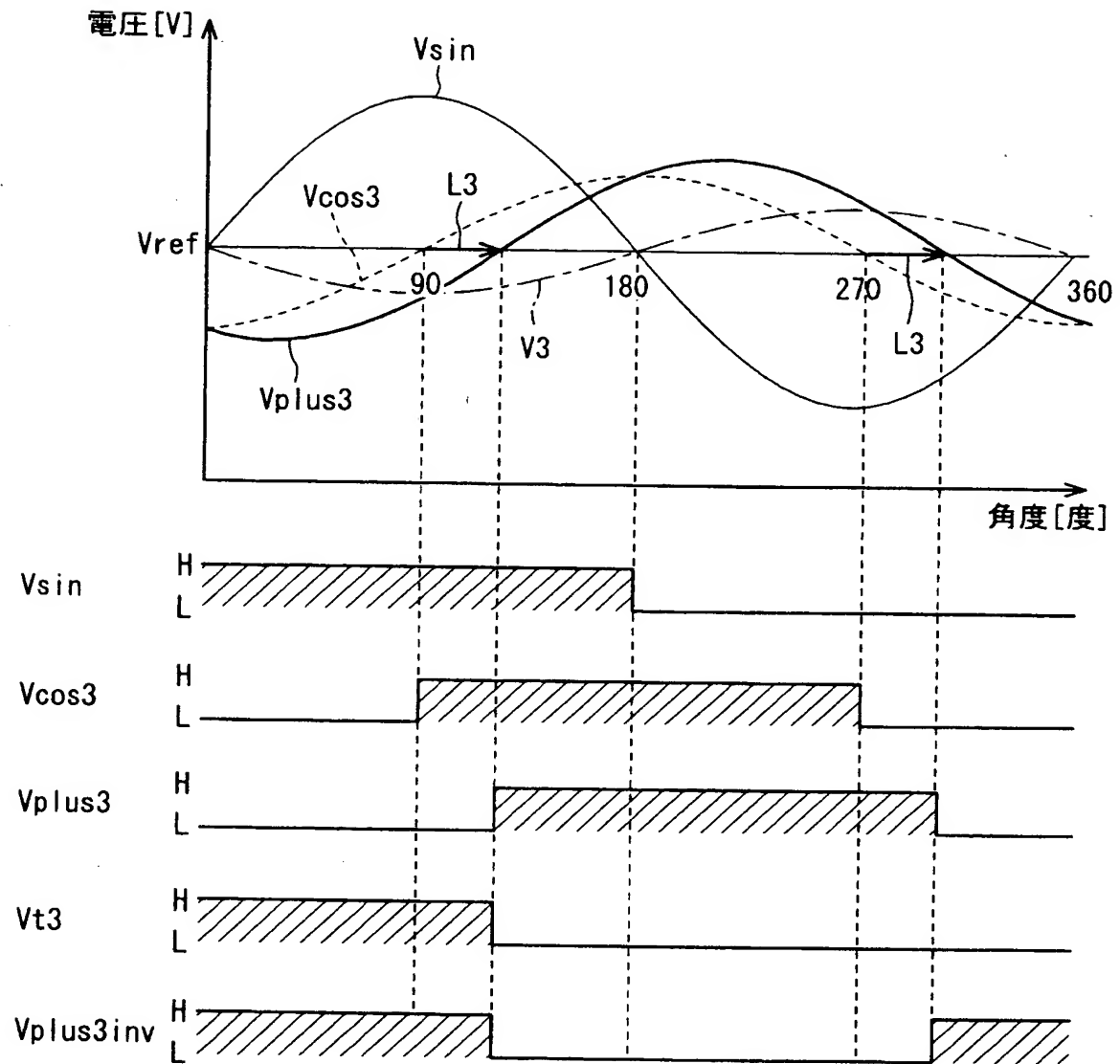
【図 9】



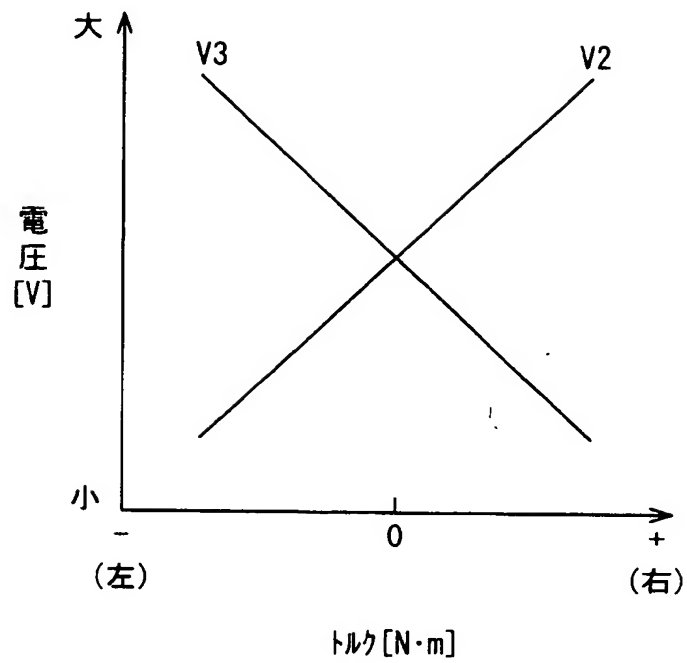
【図 10】



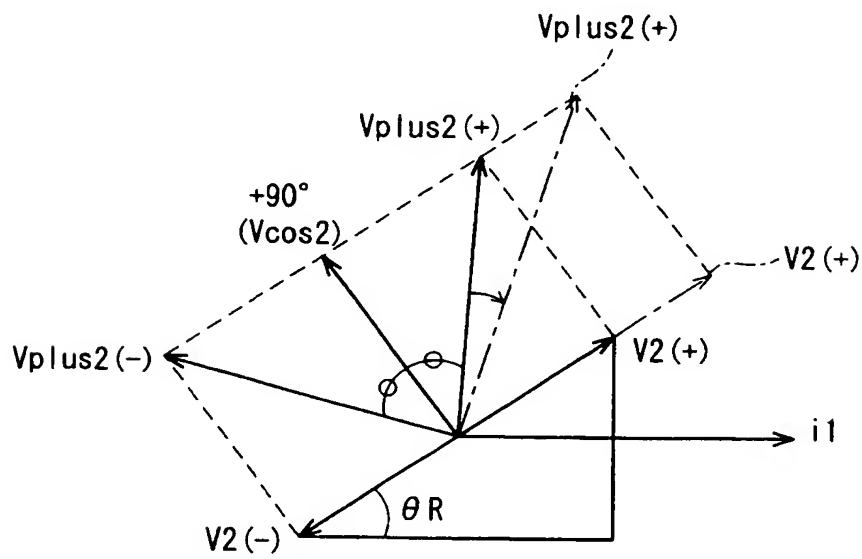
【図 11】



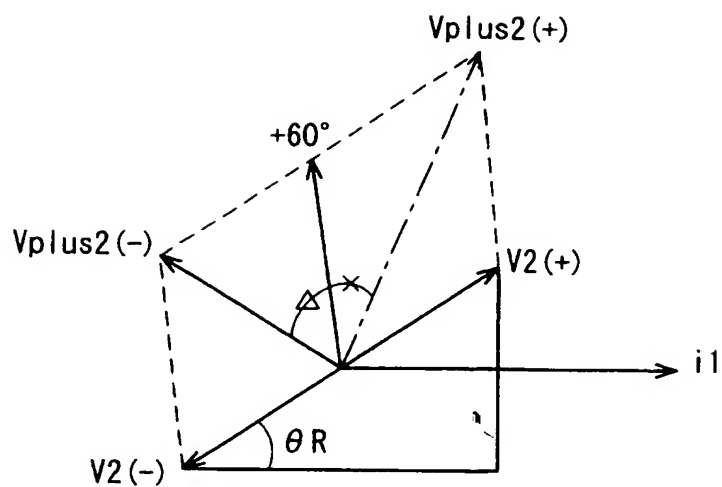
【図 12】



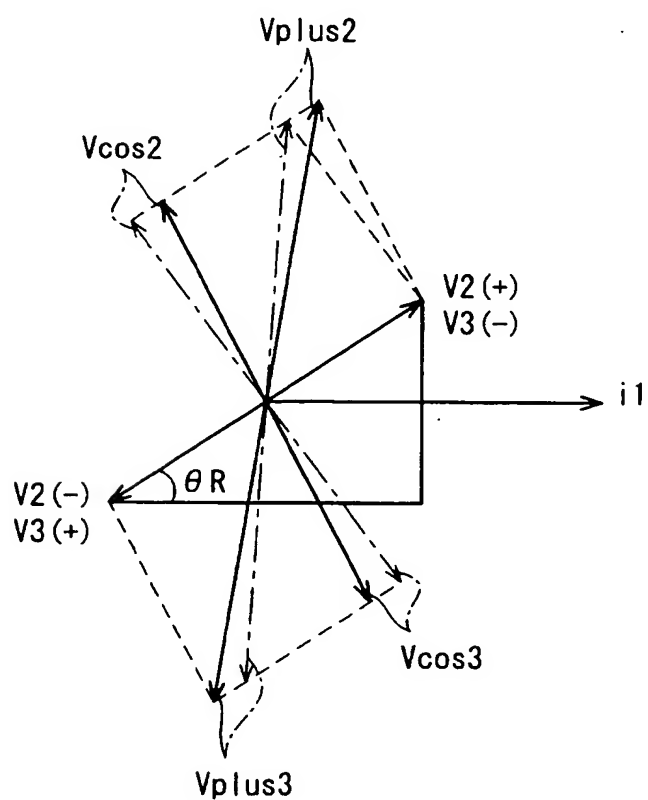
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 安定した励磁信号を供給してトルクの検出精度を向上させることができると共に、トルクセンサが出力を生じてからマイクロコンピュータで故障検出が行なわれるまでの時間的な遅れを解消することができるようにしたトルクセンサを提供する。

【解決手段】 励磁コイル 1 6 が励磁されたときの検出コイル 2 0, 2 2 の出力に基づいてトルク伝達軸に印加されるトルクを検出する E C U (マイクロコンピュータ) 6 0 を備えたトルクセンサ 1 0 において、前記 E C U 6 0 のクロック周波数を分周器 6 0 a で分周し、よって得た矩形波に基づいて正弦波からなる励磁信号を生成し、前記励磁コイル 1 6 に供給する。また、故障検出部 9 8 は、検出コイル 2 0, 2 2 の出力に基づいてトルクセンサ 1 0 の故障を示す信号を生成し、E C U 6 0 に出力する。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 2 - 3 5 5 7 3 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 3 2 6 ]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 9 月 6 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号

氏 名

本田技研工業株式会社